

DOI: 10.5846/stxb202204251147

冯君明, 冯一凡, 李翹, 吕硕, 马俊杰. 河势特征分界下的黄河滩区周边城镇生境质量与景观格局演变. 生态学报, 2023, 43(16): 6798-6809.

Feng J M, Feng Y F, Li C, Lü S, Ma J J. Evolution of habitat quality and landscape pattern in the towns along the Yellow River floodplain under the boundary of river regime. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(16): 6798-6809.

河势特征分界下的黄河滩区周边城镇生境质量与景观格局演变

冯君明¹, 冯一凡¹, 李翹^{1,*}, 吕硕², 马俊杰¹

¹ 北京林业大学园林学院, 北京 100083

² 哈尔滨工业大学建筑学院, 哈尔滨 150006

摘要: 在黄河流域生态保护和高质量发展战略背景下, 加强对黄河滩区生境质量及其驱动机制研究对区域生物多样性保护和生态韧性提升具有重要意义。以黄河滩区沿河城镇为研究区, 依据河势特征将其划分为 4 个河段和 14 个子研究区, 并基于 InVEST 模型与 3 类景观格局指数分析论证不同河势特征分界下生境质量与景观格局的时空演变规律。结果表明: (1) 生境质量方面, 2000—2020 年研究区生境质量整体呈下降趋势, 各河段生境质量平均值由大到小依次为河口段、弯曲段、游荡段、过渡段; (2) 景观格局方面, 各河段之间景观破碎度指数波动最小, 并随城镇化发展破碎化程度逐渐减弱, 连接度与复杂度波动明显, 且因河势特征存在差异性变化; (3) 生境质量与景观格局相关性方面, 多数土地景观格局指数与生境质量显著相关, 但关联程度有所下降。相同地类景观格局指数在不同河段内表现出不同甚至反向的互动关系。研究表明, 河势特征是黄河滩区生境质量的全局性支撑或限制因素, 其作用主要体现为对黄河滩区周边城镇土地空间发展的差异化影响, 该影响直接作用于紧邻黄河地带的城镇组团, 并间接影响其他区域, 在一定程度上左右了城镇发展主向以及土地转化、空间格局的演变规律, 最终影响区域生境质量的分布格局。研究结果对黄河滩区重要生态功能区的生境保护与生态系统功能调控具有一定的理论与实践价值。
关键词: 黄河滩区周边城镇; 生境质量; 景观格局; 河势

Evolution of habitat quality and landscape pattern in the towns along the Yellow River floodplain under the boundary of river regime

FENG Junming¹, FENG Yifan¹, LI Chi^{1,*}, LÜ Shuo², MA Junjie¹

¹ School of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

² School of Architecture, Harbin Institute of Technology, Harbin 150006, China

Abstract: Under the background of ecological protection and high-quality development strategy in the Yellow River Basin, strengthening the research on the habitat quality and driving mechanism of the Yellow River floodplain is of great significance for regional biodiversity conservation and ecological resilience improvement. The towns along the Yellow River floodplain, as the research area, are divided into 4 river sections and 14 sub-study areas according to the characteristics of the river regime. Based on the InVEST model and three types of landscape pattern indices, the temporal and spatial evolution of habitat quality and landscape pattern under the boundary of different river regime characteristics is analyzed and demonstrated. The results show that: (1) In terms of habitat quality, from 2000 to 2020, the overall habitat quality of the study area showed a downward trend. The average value of habitat quality of each river section was river section of delta, meandering river section, turbulent river section, and transitional river section in descending order. (2) In terms of

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(51978050); 国家住房与城乡建设部科学技术计划项目(2020-k-194); 城乡人居环境学(北京高校高精尖学科建设项目)

收稿日期: 2022-04-25; **网络出版日期:** 2023-06-06

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lich@bjfu.edu.cn

landscape pattern, the fragmentation index among 4 river sections had the smallest fluctuation, and the degree of fragmentation gradually decreased with the development of urbanization. The connectivity index and complexity index fluctuated significantly among 4 river sections, and the changes were different due to river regime characteristics. (3) In terms of the correlation between quality and landscape pattern, most of the land landscape pattern indices were significantly correlated with habitat quality, but the correlations were gradually weakened with the acceleration of urbanization. The same landscape pattern index showed different or even reverse interaction relationship in different river sections. The study shows that the river regime is an overall supporting or limiting factor for the habitat quality of the Yellow River floodplain, and its effect is mainly reflected in the differential effect on the land spatial development of the towns along the Yellow River floodplain. This influence directly affected the evolution of urban built-up or green space adjacent to the Yellow River floodplain, and indirectly affected other district of the study area. To a certain extent, it has a profound influence on the main direction of urban development, the master regulation of the evolution of land cover and spatial pattern, and finally affects the distribution pattern of habitat quality in the towns along the Yellow River floodplain. The study results have certain theoretical and practical values for the habitat protection and ecosystem function regulation of important ecological function areas in the Yellow River floodplain.

Key Words: towns along the Yellow River floodplain; habitat quality; landscape pattern; river regime

随着人类活动的加剧以及土地覆被的变化,流域景观格局发生快速改变,并威胁当地生境质量^[1]。生境质量是生物多样性维持能力的重要表征,体现了区域生态环境为生物提供生存条件的能力^[2]。加强生境质量评估可以在一定程度上掌握流域生态系统的优劣情况,为区域可持续发展提供支撑。

长久以来,国内外学者积极探索自然环境^[3]、社会经济^[4]、城市建设^[5]等因素对生境质量的影响。其中,自然因素对城市空间发展的约束力较强^[3],使不同自然特征梯度之间的生境质量存在较大差异。然而已有成果主要聚焦自然梯度等级与生境质量的关系,对不同梯度分界下生境质量与景观格局的相关性研究较少。此外,目前常用的自然因子梯度划分方式主要包括地形梯度和圈层梯度两类^[6],前者适合于地形起伏较大的丘陵山区,对平原生境质量解释力较弱,后者聚焦个体城市或有中心聚集效应的城市组团,难以作为流域城市/镇带梯度的划分途径。随着河流生态系统理论体系的逐步完善,越来越多的学者认识到河势对流域研究的重要性^[7]。河势指河道水流的平面形式及变化趋势,受地质与气候特征、来水来沙条件等自然因素和河床边界等人为因素影响^[8]。在河势传递效应影响下,上下游、左右岸、河段与流域之间存在互动关联^[7]。在河势特征与生物多样性的关系中,已有研究表明河床形态^[9]、河岸类型^[10]等均对河流生物多样性产生影响。在河流生态系统与流域生态系统关系上,流域生态学^[11]、生态水文学^[12]等理念都将二者视为具有互动作用的整体。作为由水统一起来的水文单元^[13],流域河流是支撑其生物多样性的重要自然因素,河流的河势特征也在一定程度上影响着两岸流域地带的生境状况。立足河势梯度视角梳理生境质量与景观格局耦合关系有助于进一步探索流域生境质量的驱动机制及内在差异。

基于上述研究,本文将河势特征作为流域生境质量与景观格局互动关系研究的空间梯度划分依据,并选择黄河滩区周边城镇作为实证区域。黄河滩区指黄河下游宽河道段主河槽至两侧河堤之间的地带^[14],是全球候鸟迁徙通道的中心区域和生物多样性分布的重要地段^[15],但生态流量偏低、河口湿地萎缩等现状也导致黄河滩区生态基址十分脆弱。2019年9月,黄河流域生态保护和高质量发展战略的提出^[16],对黄河滩区周边城镇生态环境与城乡空间治理提出了新要求。然而在较长时间内,聚焦黄河滩区城镇开展的生境质量相关研究较少,已有成果主要围绕黄河流域^[17]、省域^[18]或城市^[19]尺度展开,并且在景观格局与生境质量关联上,不同河段或城市/镇也有不同的结论得出^[19-20]。本文对2000—2020年黄河滩区周边城镇生境质量与景观格局演变进行分析,重点探讨不同河势特征分界下景观格局与生境质量的相关性。研究过程可以为流域生物多样

性研究提供新思路,研究结论也能为黄河下游地区土地资源的可持续利用与韧性发展提供科学依据。

1 研究区概况

黄河滩区位于河南省北部和山东省西北部,河道长 786 km^[8],沿河地貌包括黄淮海平原、鲁中丘陵与河口三角洲三种类型,整体地势较为平坦,大部分属温带大陆性季风性气候,年平均气温 12—15℃,年平均降雨量 630—700 mm^[21]。本文选择河南省和山东省 15 个地级市内共 62 个黄河滩区沿河城区、县与县级市作为研究区,具体包括 10 个中心城市城区、14 个一级城镇空间和 38 个二级城镇空间,总面积约 52052 km²,筛选过程与分类依据详见课题组研究成果^[22]。根据河道特性、河床边界条件与小流域特点^[23],将研究区划分为 4 条总段、7 条分段以及 14 个子研究区,各区构成及河势、流域信息如图 1、表 1 所示。

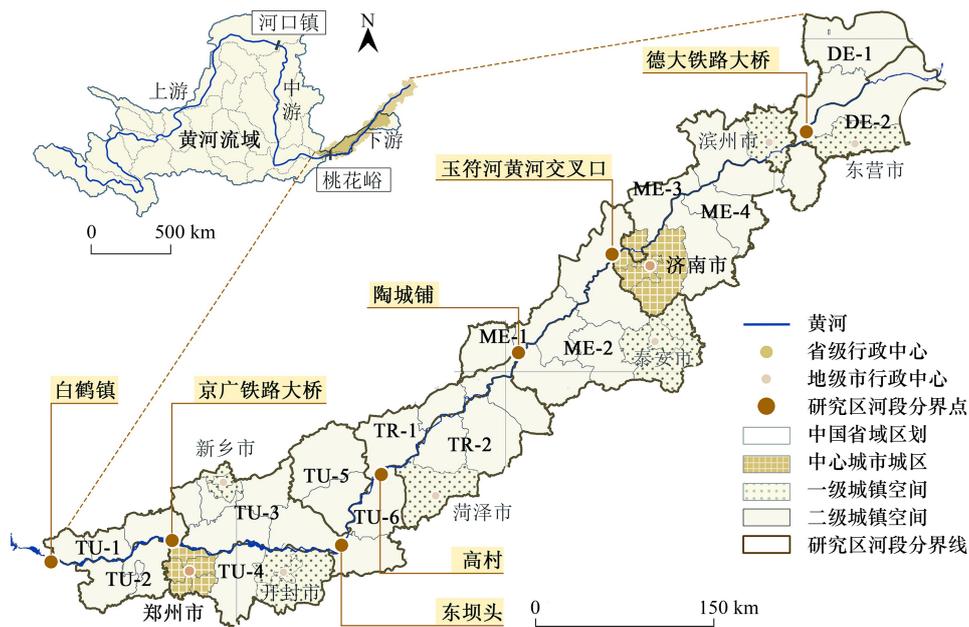


图 1 研究区概况

Fig.1 Overview of the research area

TU-1: 白鹤镇-京广铁路大桥段左岸; TU-2: 白鹤镇-京广铁路大桥段右岸; TU-3: 京广铁路大桥-东坝头段左岸; TU-4: 京广铁路大桥-东坝头段右岸; TU-5: 东坝头-高村段左岸; TU-6: 东坝头-高村段右岸; TR-1: 高村-陶城铺段左岸; TR-2: 高村-陶城铺段右岸; ME-1: 陶城铺-玉符河黄河交叉口段左岸; ME-2: 陶城铺-玉符河黄河交叉口段右岸; ME-3: 玉符河黄河交叉口-德大铁路大桥段左岸; ME-4: 玉符河黄河交叉口-德大铁路大桥段右岸; DE-1: 德大铁路大桥-黄河口段左岸; DE-2: 德大铁路大桥-黄河口段右岸

2 研究数据和方法

2.1 数据来源

以中国科学院资源环境科学与数据中心 (<http://www.resdc.cn/>) 提供的河南省和山东省 2000、2005、2010、2015、2020 年 30 m 精度土地覆盖数据为主要信息源(图 2)。在研究过程中,生境质量评价采用国土资源部发布的《土地利用现状分类》(GB/T 21010-2017) 二级分类系统开展相关分析,景观格局指数分析则将研究区域土地覆被类型按一级分类系统重分类为耕地、林地、草地、水域、已建成区和未利用地进行分析。此外,为便于数据统计与表达,本文以 6 km×6 km 为格网单元对研究区进行划分,共获得 1673 个格网,以此为基础开展相关分析过程。

表 1 研究区信息表
Table 1 Information of the research area

类型 Type	编号 No.	名称 Name	面积/km ² Area	包含城镇单元 Contained town units	三级流域 Sub-basin	河势特征 Characteristics of river regime
游荡段	TU-1	白鹤镇-京广铁路大桥段左岸	1876.92	孟州市、温县、武涉县	小浪底至花园口干流区	长 98 km,河道 4—10 km,滩心多为浅滩且出没不定
	TU-2	白鹤镇-京广铁路大桥段右岸	1996.20	巩义市、上街区、荥阳市	同 TU-1	
	TU-3	京广铁路大桥-东坝头段左岸	4682.13	获嘉县、卫滨区、牧野区、凤泉区、红旗区、新乡县、延津县、原阳县、封丘县	金堤河天然文岩渠流域	长 131 km,堤距 5.5—12.7 km,堤距较宽,滩岸抗冲能力弱,滩区村庄稠密,人口数量大
	TU-4	京广铁路大桥-东坝头段右岸	4282.97	惠济区、中原区、金水区、二七区、管城回族区、中牟县、龙亭区、鼓楼区、顺河回族区、禹王台区、祥符区	玉蚌区间北岸流域	
	TU-5	东坝头-高村段左岸	2819.37	滑县、长垣县	同 TU-3	长 70 km,堤距 4.7—20 km,为"二级悬河"较早形成区域,是黄河下游防洪的薄弱地段
	TU-6	东坝头-高村段右岸	2402.30	兰考县、东明县	湖西区流域	
过渡段	TR-1	高村-陶城铺段左岸	2489.95	濮阳县、范县、台前县	同 TU-3	长 165 km,堤距 1.4—8.5 km,河段整体河槽摆动不大,河道平面曲直相间
	TR-2	高村-陶城铺段右岸	5053.33	牡丹区、鄄城县、郓城县、梁山县	同 TU-6	
弯曲段	ME-1	陶城铺-玉符河黄河交叉口段左岸	3141.95	阳谷县、东阿县、齐河县	徒骇马颊河流域	长 136 km,堤距 0.5—5.0 km,河道断面较为窄深,滩岸对水流约束作用强
	ME-2	陶城铺-玉符河黄河交叉口段右岸	6616.82	东平县、平阴县、肥城市、长清区、泰山区、岱岳区	黄汶区流域	
	ME-3	玉符河黄河交叉口-德大铁路大桥段左岸	3750.43	天桥区、济阳区、惠民县、滨城区	同 ME-1	长 156 km,堤距 0.5—5.0 km,受鲁中山区影响,滩岸对水流约束作用更强
	ME-4	玉符河黄河交叉口-德大铁路大桥段右岸	6537.77	槐荫区、市中区、历下区、历城区、章丘区、邹平市、高青县、博兴县	小清河流域	
河口段	DE-1	德大铁路大桥-黄河河口段左岸	3265.01	利津县、河口区	同 ME-1	长 114 km,整体地势平坦,新老河道纵横交错,相互重叠切割形成了岗、坡、洼等微地貌类型
	DE-2	德大铁路大桥-黄河河口段右岸	3167.34	东营市、垦利区	同 ME-4	

TU: 游荡段 Turbulent river section; TR: 过渡段 Transitional river section; ME: 弯曲段; Meandering river section; DE: 河口段 River section of delta

2.2 研究方法

2.2.1 InVEST 模型生境质量评估

InVEST(Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs)模型是由美国斯坦福大学自然资本项目平台开发,用于评估生态系统服务功能量、支持生态系统管理决策的模型系统,在国内外使用频繁,方法也相对成熟^[3]。InVEST 模型中的生境质量模块主要根据土地利用/覆盖类型的敏感度,威胁因子的位置、威胁距离等计算生境质量,分析原理及公式如文献^[24]所示。为使模型参数符合黄河滩区实际情况,本文依据黄河下游地区相关文献^[17, 19, 25]、现状调查、专家意见与 InVEST 模型用户手册等,选择威胁源因子并设定其影响距离、权重、敏感度等信息如表 2—3 所示。在分析过程中,将生境质量按指数平均值大小划分为 4 个等级(0.00—0.25、0.25—0.50、0.50—0.75、0.75—1.00)进行表达,分别对应低等、中低等、中高等和高等生境质量区。

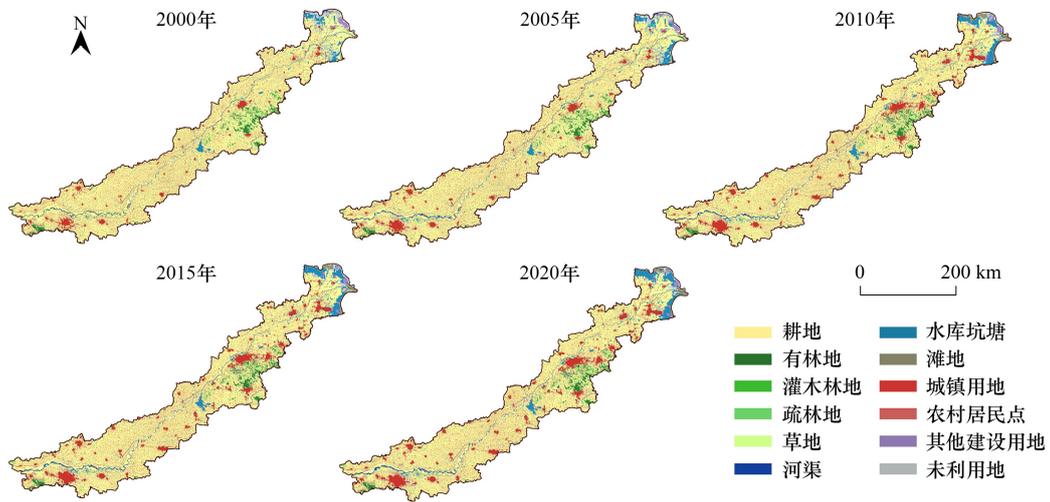


图 2 2000—2020 年黄河滩区周边城镇土地覆盖图

Fig.2 The map of land cover in the towns along the Yellow River floodplain from 2000 to 2020

表 2 威胁因子参数信息

Table 2 Information of threats parameter

威胁因子 Threats	最大影响距离 Maximum impact distance/km	权重 Weight	衰退类型 Decay type
耕地 Cultivated land	1	0.60	线性衰退
城镇用地 Urban land	10	1.00	指数衰退
农村居民点 Rural residential land	4	0.60	指数衰退
道路 Urban road	3	0.50	线性衰退
工矿用地 Industrial and mining land	5	1.00	指数衰退

表 3 各类型景观对威胁因子的敏感度

Table 3 The sensitivity of different landscapes to threatening factors

土地覆被类型 Land cover	生境适宜度 Habitat suitability	耕地 Cultivated land	城镇用地 Urban land	农村居民点 Rural settlements	道路 Urban road	工矿用地 Industrial and mining land
耕地 Cultivated land	0.50	0.20	0.50	0.50	0.350	0.60
有林地 Woodland	1.00	0.70	0.90	0.80	0.80	0.70
灌木林 Shrub wood	0.90	0.60	0.80	0.60	0.70	0.70
疏林地、其他林地 Sparse wood and other woodland	0.70	0.60	0.80	0.60	0.70	0.60
草地 Grassland	0.60	0.55	0.70	0.50	0.50	0.60
河渠 River and canal	0.90	0.65	0.75	0.65	0.50	0.65
湖泊 Lake	0.80	0.60	0.70	0.65	0.50	0.65
滩地 floodplain	0.60	0.50	0.55	0.50	0.50	0.60
城镇用地 Urban land	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
农村居民点 Rural residential land	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
工矿用地 Industrial and mining land	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00	0.00
未利用地 Unused land	0.20	0.20	0.50	0.40	0.20	0.30

2.2.2 生境质量空间分布特征

使用全局莫兰指数 (Moran's *I*) 描述研究区生境质量是否有集聚效应, 该指数可以探究相邻网格属性值在

全局空间上的关联度,其原理及公式详见文献^[26]。全局莫兰指数值域为 $[-1, 1]$,若大于0为正相关,反之则为负相关,其绝对值趋近于1表示集聚性较强,等于0则代表随机分布。

2.2.3 景观格局指数

参考已有研究成果^[27],选择3类共9项景观格局指数,包括:(1)空间破碎度:斑块个数(NP)、斑块密度(PD)、最大斑块指数(LPI);(2)空间连接度:连通度(COHESION)、散步与并列指数(IJI)、聚合度(AI);(3)空间复杂度:边缘密度(ED)、边缘长度(TE)、景观形状(LSI)。各指标公式详见参考文献^[28],计算过程通过FRAGSTATS 4.2软件进行,并以2 km为粒度单元进行移动窗口法(Moving Window)分析。此外,为更加显著地表达研究区景观格局指数的时空分异,研究过程将对景观格局指数分析结果进行线性归一化处理并按类型等权叠加^[29],以此为基础开展相关分析过程。

2.2.4 生境质量与景观格局指数的相关性分析

选择皮尔森相关系数(Pearson correlation coefficient)计算研究区生境质量与景观格局指数之间相关性。皮尔森相关系数是一种线性相关系数,用来反映两个变量相关程度,绝对值越大代表相关性越强,在本文用于计算研究区生境质量与景观格局指数的基础回归关系,相关原理及公式如文献^[30]所示。

3 研究结果

3.1 黄河滩区周边城镇土地覆被总体演变

本文基于土地生态功能和空间结构讨论生境质量与景观格局的关系,这就需要对研究区土地构成与演进形成总体认知。如图3—4所示,研究区主要土地覆盖类型为耕地,面积占比均达到66%以上,其次为建设用地,面积占比也均高于15%。研究期间,黄河滩区城镇建设用地、水域面积持续增加,其他地类与之相反,其中耕地在对外转化方面占比最高,2005—2010年达到研究区总面积的5.64%,建设用地、耕地是各时段土地转换比例较高地类,水域虽然在整体土地转化程度上弱于前两者,但强于林地、草地等重要生态要素,并占有更大比重,进一步突显水文要素在黄河滩区生态环境演变中所扮演的角色。

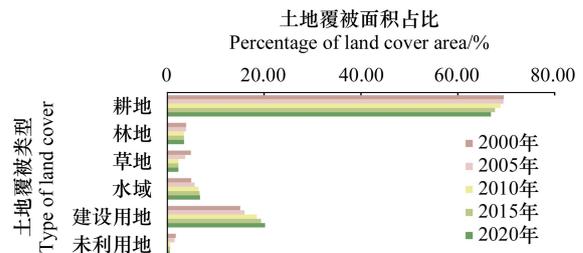


图3 2000—2020年黄河滩区周边城镇土地覆盖面积统计
Fig.3 Statistics of land cover area in the towns along the Yellow River Floodplain from 2000 to 2020

3.2 黄河滩区周边城镇生境质量时空演变特征

3.2.1 黄河滩区周边城镇生境质量空间分布特征

2000—2020年间,研究区生境质量指数级别以中低等为主(图5—6),与已有成果基本一致^[17,25]。少数高等质量区于黄河入海口、东平湖、济南南部或郑州西部山地等呈斑块状分布,中高等和中低等质量区广泛分布于黄河两侧平原,低等生境质量区则以点状或小型斑块的形式分布在各级城镇建成区域。从空间集聚性看,研究区生境质量指数集聚效应显著(全局莫兰指数 $P=0, Z>0$)。在河段对比上(图6),各河段生境质量平均值由高到低依次为河口段>弯曲段>游荡段>过渡段,除河口、弯曲段内分布有一定比例的高等级生境质量区外,游荡、过渡段内中高、高等级生境质量区比例均不足1%。

3.2.2 黄河滩区周边城镇生境质量时序演变特征

从时间演变来看,研究区生境质量整体处于逐年下降状态(图6),20年内由0.4850降到了0.4658,2000—2010年间下降最为严重。在空间集聚特征上,研究期内生境质量全局莫兰指数于0.6154至0.6321之间小规模变动,表明各级生境质量区集聚性相对稳定。在河段对比上(图6—7),除河口段外各河段生境质量平均值处逐年下降状态,游荡、弯曲段在2005—2010年下降速率较高,主要原因在于该时段黄河滩区城镇化速度较快^[22],大量林地、耕地等土地转为建设用地,加剧了威胁源对区域生境斑块的限制作用。比较特别的

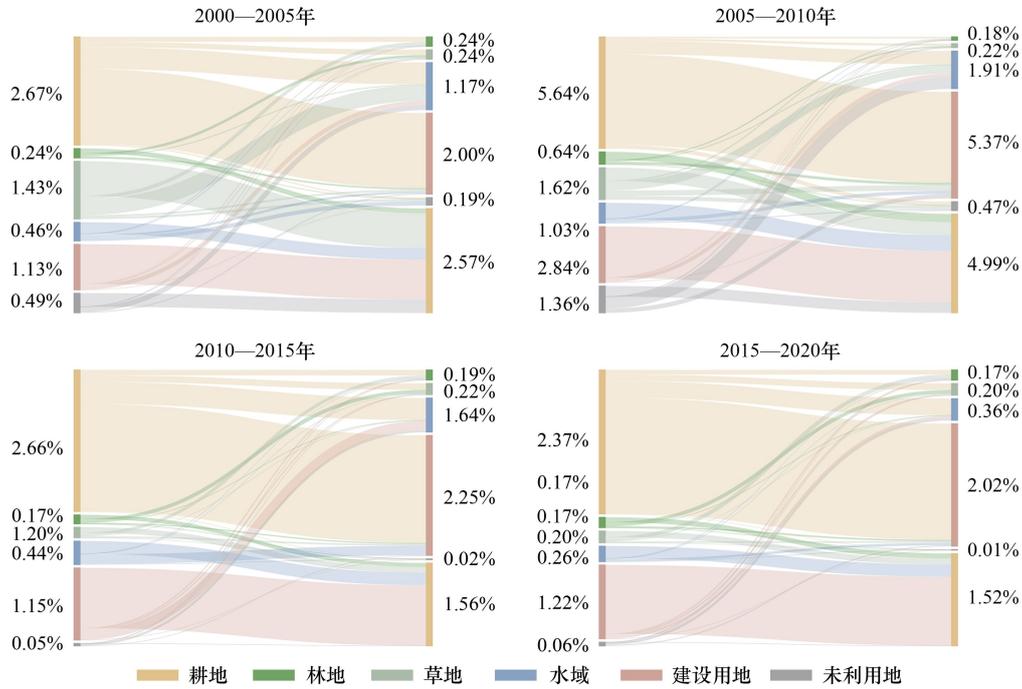


图 4 2000—2020 年黄河滩区周边城镇土地覆盖转换统计

Fig.4 Statistics of land cover conversion in the towns along the Yellow River Floodplain from 2000 to 2020

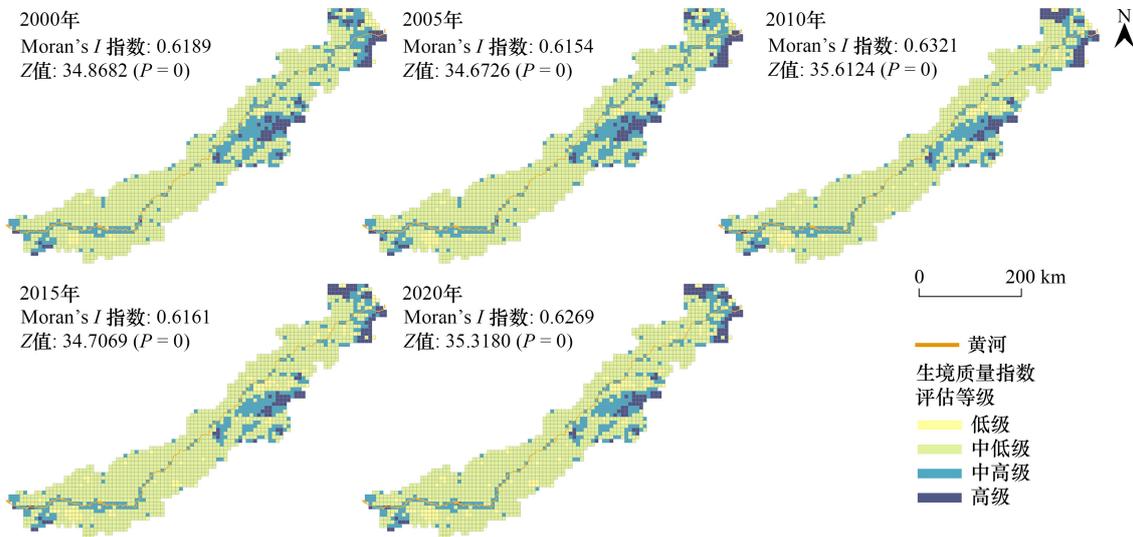


图 5 2000—2020 年黄河滩区周边城镇生境质量指数等级分布

Fig.5 Distribution of the grade of habitat quality index in the towns along the Yellow River Floodplain from 2000 to 2020

是,同处黄河入海口的垦利区(DE-2)和河口区(DE-1)呈相反趋势,并且上升/下降幅度均极高,主要原因在于 2010 年前后 DE-1 区黄河三角洲洲体蚀退幅度较大^[31],逐年扩增的水体为河岸地带提供了良好的生境条件,这方面与 DE-2 区相反,导致后者近 20 年生境质量平均值每 5 年下降 2.0%。

3.3 黄河滩区周边城镇景观格局演变特征

3.3.1 黄河滩区周边城镇景观格局指数空间分布特征

在景观格局指数上,各子研究区与所属河段也表现出一定的空间分异(图 8)。2000—2020 年,研究区景

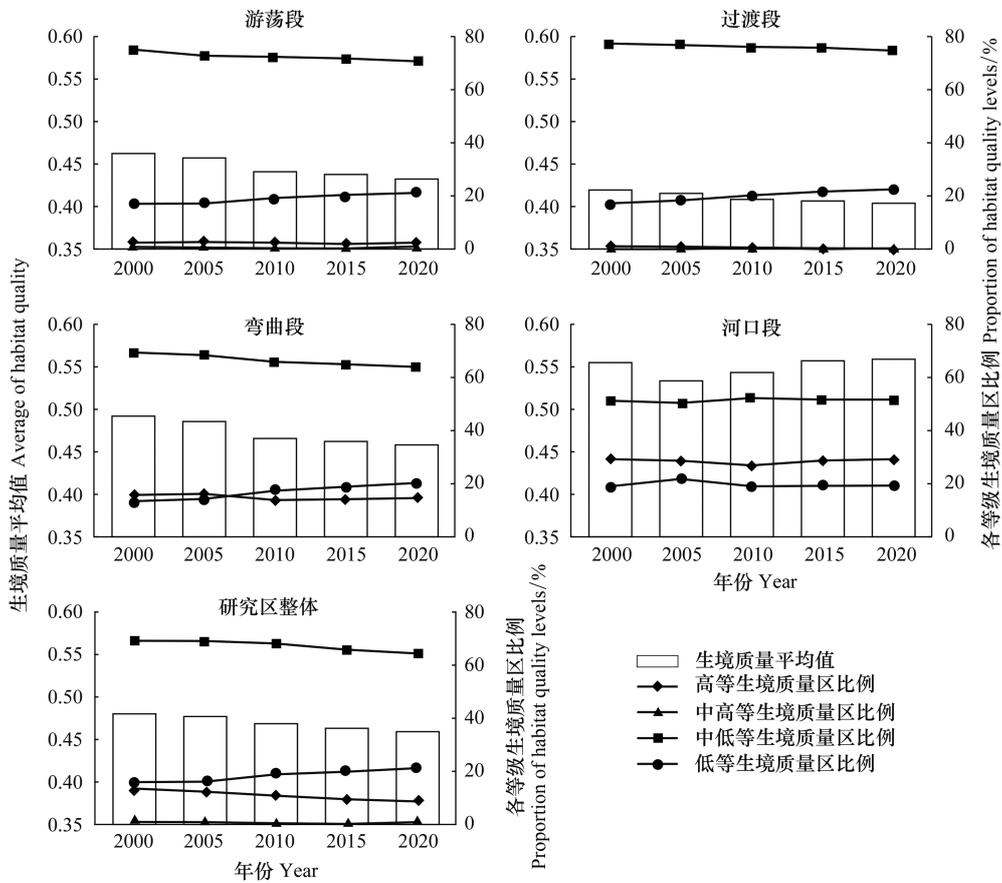


图 6 2000—2020 年黄河滩区周边城镇生境质量平均值及各等级生境面积比例

Fig.6 Average of habitat quality and proportion of each grade of habitat quality area in the towns along the Yellow River Floodplain from 2000 to 2020

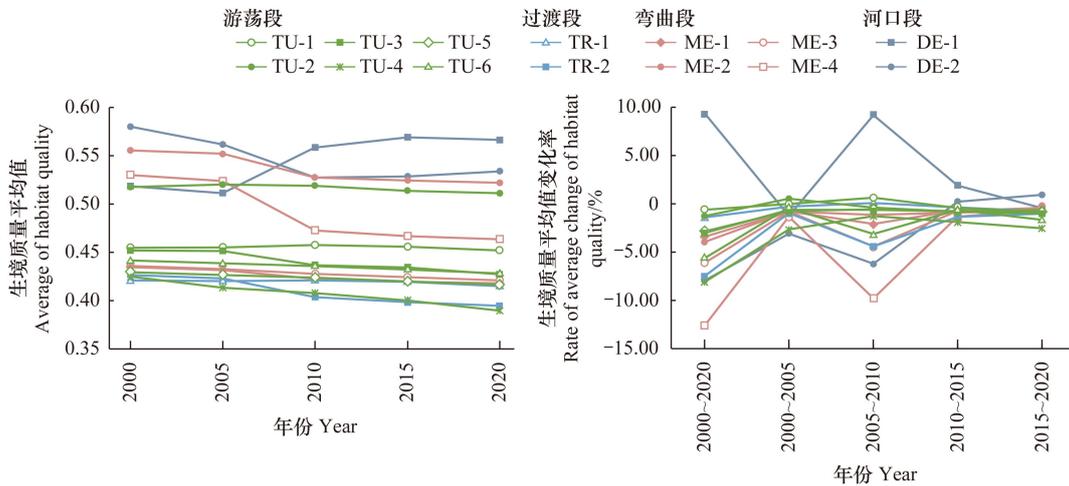


图 7 2000—2020 年黄河滩区各河段城镇生境质量平均值演变

Fig.7 Evolution of the average of habitat quality index of each river region in the towns along the Yellow River Floodplain from 2000 to 2020

观破碎度与复杂度分布规律大体相近,连接度与之相反。在变化幅度上,三类景观格局指数波动情况由大到小依次为复杂度>连接度>破碎度,可以解释为黄河滩区周边区域城镇化与区域一体化发展程度均较强,广袤的农业景观基底与相近的城镇发展布局减小了土地空间在斑块破碎化方面的差距。与之不同的是,各河段景

观连接度与复杂度差异明显,其中连接度指数河口段>游荡段>过渡段>弯曲段,复杂度则与之相反,主要原因在于河口段滨海滩涂以及游荡段“二级悬河”特性极大降低了黄河两岸城镇空间发展的自由程度,使建设用地的扩张以“填充式”或“蔓延式”为主^[32],同时相比其他河段表现出与黄河不同的关系模式,例如郑州市中心城区以平行或远离黄河为发展主向^[32],济南市则于 2016 年提出“携河发展”目标,可见河势特征对黄河沿岸城镇空间的发展可以起到制约、开放或联动的复杂影响。

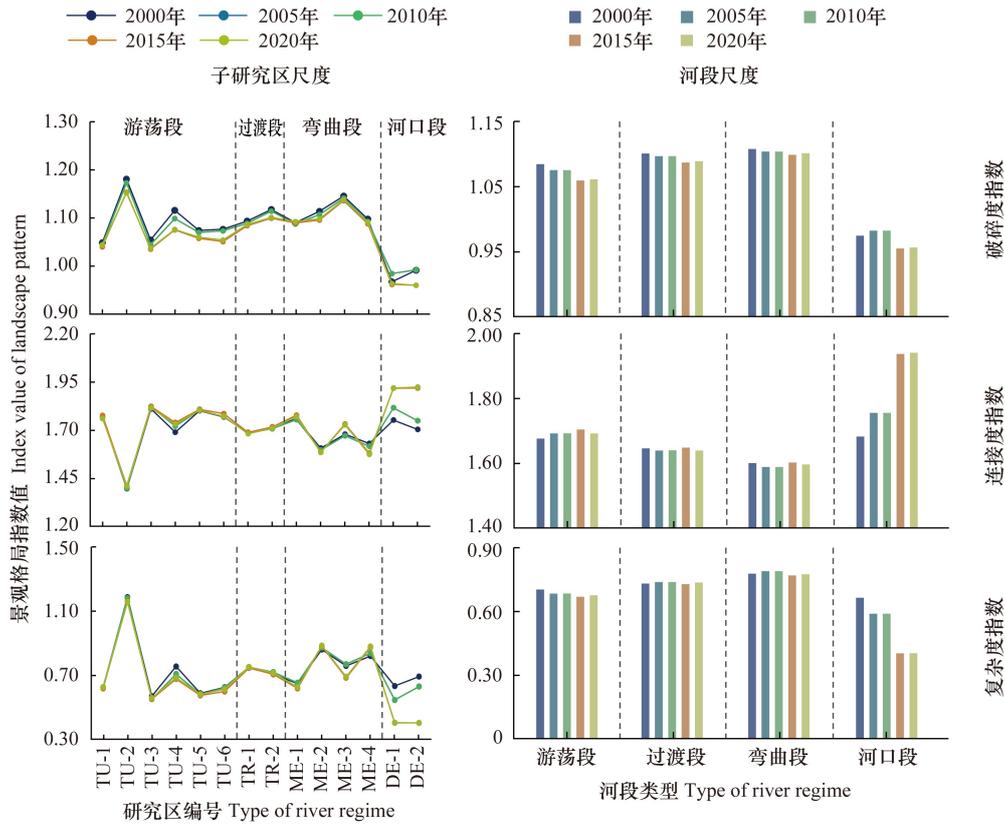


图 8 2000—2020 年黄河滩区不同河段城镇景观格局指数演变

Fig.8 Evolution of landscape pattern index of each river region in the towns along the Yellow River Floodplain from 2000 to 2020

3.3.2 黄河滩区周边城镇景观格局指数时序演变特征

在时间尺度上,2000—2020 年黄河滩区周边城镇景观破碎度呈微弱下降趋势(图 8),下降幅度由大到小依次为游荡段>河口段>过渡段>弯曲段,可以解释为快速城镇化发展与建成区的扩张使城乡结合地带的过渡性斑块得以整合,但河势特征对游荡段和河口段城镇空间发展限制更加明显。连接度方面,游荡段连接性指数逐年增加,以郑州市、开封市中心城区所在的 TU-4 区段最为显著,这与济南市中心城区所在的 ME-4 区段(弯曲段)相反,进一步印证了游荡段河势对黄河沿岸城镇发展的限制作用;过渡段与弯曲段连接性指数较为稳定;而河口段则有较大程度提升,主要归因于大面积水库坑塘、滩地被建设用地侵占,同时在海岸蚀退作用下,河岸散布的草地斑块在研究时段内平均每年减少 4.85%。复杂度与连接度指数规律相反,但变化幅度较弱。

3.4 黄河滩区周边城镇生境质量与景观格局的相关性

图 9 展示了研究期内黄河滩区周边城镇生境质量与景观格局的 Pearson 相关性分析结果。整体尺度上,以 2020 年为例,大部分地类景观格局指数(86.7%)与生境质量显著相关($P<0.01$)。林地、草地破碎度与复杂度指数与生境质量呈显著正向关系;水域在连接性方面也对生境质量具有一定影响力;建设用地连接性指数与生境质量表现出极强的负相关性;耕地的破碎化与连接性下降表明生境质量将会有所提升。在演变过程

中,46.7%的景观格局指数 Pearson 相关系数值呈持续降低状态,40.0%为先减后增,可以解释为 2000—2010 年研究区土地动态度相对较高^[22],降低了土地空间格局的内在差异性,导致相关景观格局指数与生境质量的关联逐渐减弱。

河段尺度上,以最临近状态的 2020 年为例进行分析(图 9)。与整体尺度相比,各河段之间生境质量与景观格局相关性存在较大差异。游荡性河段具有“宽、浅、散、乱”的水文特点^[8],水域难以成为支撑区域生境质量的关键因素,使其相比其他河段更加依赖林草生境斑块的优化;过渡段兼具游荡段与弯曲段的河势特征,滩区两岸蓄水能力强^[23],这为该地区草地生态系统发育提供了支撑,草地破碎度、连接度、复杂度指数与生境质量的关系最为协同;弯曲段河势稳定,堤距小且对水流的约束作用强,使该河段城镇空间发展与黄河关系最为紧密,但也加剧了建设用地与水域对于生境质量的矛盾关系,甚至后者在破碎度、复杂度指数方面的作用因此受到削弱;土地覆被对河口段生境质量的影响主要体现在耕地、水域与建设用地方面,首先,高破碎度、高复杂度的水域斑块多分布在生境质量较低的城镇地带,因此与生境质量呈负相关关系;其次,由于耕地的生境适宜度小于水域覆被类型,因此高连接性农田区域生境质量虽然优于城镇建成区,但仍小于水域斑块的影响,建设用地格局指数与此同理。

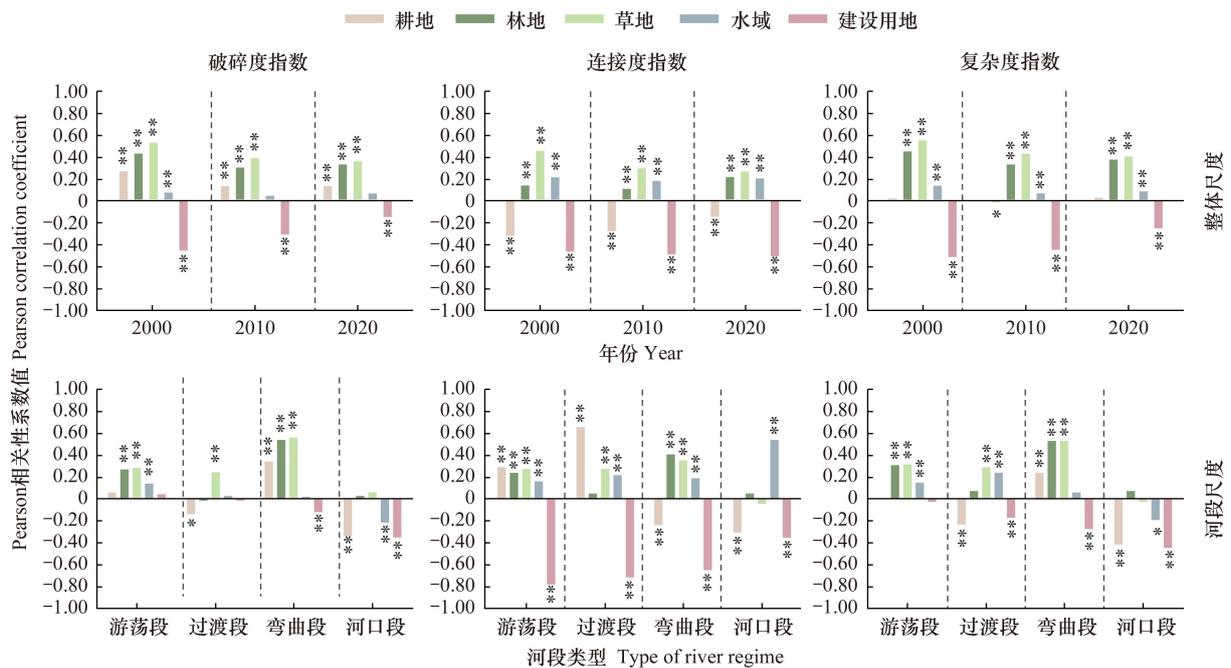


图 9 黄河滩区周边城镇景观格局指数与生境质量 Pearson 相关性结果

Fig.9 Pearson's correlation between landscape pattern index and habitat quality in the towns along the Yellow River Floodplain

* 表示 $P < 0.05$; ** 表示 $P < 0.01$

4 讨论与结论

4.1 讨论

(1) 黄河下游生态系统是以黄河干流为主体,由山、河、林、田、湖、草、滩等构成的复合生态系统。在《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》启示下,以城镇为基本单元,从流域城镇带入手讨论区域景观格局和生境质量的关系可以更加全面地解释二者之间的关联与空间分异,也是对河流/流域生态学、流域水文学等理论^[33]的实践运用与扩展。

“游荡段、过渡段、弯曲段、河口段”是对黄河下游河势特点的定性描述^[23],体现了黄河下游河流生态系统在纵向维度上的变化情况^[34]。在流域尺度上,国内外学者通常关注水利枢纽等设施对流域景观格局^[35]或

生物多样性^[34]的影响,对河势内在差异所带来的纵向变化关注不足,分析其中的原因,可能由于河势特点受多重因素影响使其难以有效量化,但不可否认的是,在人类干扰水文过程的能力日趋加强背景下,河势特征的不同必然会扩大河流/流域生态系统在格局与功能上的差异,这仍然是河流生态系统序列不连续性(Serial Discontinuity)理念的体现^[34]。通过对黄河滩区周边城镇生境质量与景观格局的时空演变研究,可以发现河势特征对区域城镇空间发展和生境质量演变均产生差异化影响,主要表现在:①河势特征直接影响黄河滩区两侧城镇的土地转化与空间格局演变,例如游荡段“二级悬河”与河口段三角洲极大限制了黄河滩区两侧城镇建设用地扩张的自由程度,使其景观连接度指数高于弯曲段和过渡段,土地斑块的破碎化过程也有所减弱;②不同河段内土地景观格局与生境质量相关性存在显著甚至相反的差异,例如河口段水域斑块的破碎化和复杂程度提升与生境质量呈负向关系,在其他河段均正向相关;③面对不同的河势环境条件,地方政府采取了多种针对性措施,包括黄河滩区生态廊道建设、黄河口生态旅游区等,对区域生境质量提升产生一定支持,但在城镇化过程中,城-水矛盾始终是生物多样性维持的关键,作为郑-新一体化发展的重要节点,新乡市平原示范区与黄河距离为 10 km 左右,而济南市落实“跨河发展”战略的新旧动能转换先行区中心城区与黄河距离不足 3 km,东营市也在加快沿海开发建设过程,上述内容既是人类根据河势特点选择的发展模式,也是需要借助多种手段缓和城-水矛盾的空间载体。总体而言,河势特征是黄河滩区景观格局与生境质量的全局性支撑或限制因素,相比水利枢纽直接影响河流的水文过程,河势特征的影响更多映射在周边区域范围内,并对生境质量产生差异性影响,这也是相同地类在不同河段与生境质量关系存在显著差异^[19,36]的重要原因之一。

(2) 本文仍存一定局限,在研究方法上,虽然 InVEST 模型应用较为成熟,在参数设定上也依据了模型指导手册和相关研究成果,但由于黄河滩区较大的区域跨度与复杂的水文环境,如何统筹不同河段城镇特点,实现更加合理的评估参数设定有待进一步推敲。在研究对象上,由于复杂的水文条件,黄河下游地区拥有天然的河势分异现象,因此土地景观格局与生境质量以及二者相关性的差异在不同河段内能够有所表达,而该方法对其他河流的适用性还需进一步探讨。

4.2 结论

本文采用 2000—2020 年土地覆被数据,基于 InVEST 模型测度黄河滩区周边城镇生境质量的空间分布,使用 FRAGSTATS 软件进行景观空间破碎度、连接度与复杂度指数分析,最后通过 SPSS 平台计算不同尺度条件下生境质量与景观格局的 Pearson 相关性。主要结论如下:

(1) 生境质量方面,2000—2020 年间,黄河滩区周边城镇生境质量级别以中低等为主,各级生境质量区以集聚性方式稳定分布。在不同河段对比中,各河段生境质量平均值由高到低依次为河口段、弯曲段、游荡段、过渡段。随着时间推移,除河口段外,各河段生境质量平均值处逐年下降状态。

(2) 景观格局方面,各河段之间景观格局指数存在一定空间差异,其中破碎度差异最小,复杂度差异大于连接度,但二者表现形式相反。在景观格局指数演变过程中,游荡段、河口段受河势特征影响更加突显,黄河滩区两侧或滨海区域脆弱的生态基址使其难以承载过于复杂的城镇建设功能,而弯曲段城镇空间的发展较少受到水文条件的限制。

(3) 生境质量与景观格局的相关性方面,多数土地覆被类型的景观格局指数与生境质量显著相关,但关联程度随城镇化发展有所减弱,这与常玉昀等研究结论一致^[37]。林地、草地是游荡段生境质量的关键因素;弯曲段、河口段在其基础上更需关注城-水之间的矛盾关系,过渡段区域内草地对生境质量提供了稳定的支撑作用,但其相对单一的生态系统构成难以在更广程度上为流域生物多样性提供支持。

21 世纪初期,黄河滩区城镇发展极大改变了原有土地空间格局,虽然近年土地转换程度有所下降^[22],但庞大的耕地与建设用地规模依然限制着生境质量的改善进程。随着小浪底水库的建成使用,各河段水文条件逐渐趋于稳定。在以生境质量提升为主要目的的黄河滩区周边城镇空间优化上,需聚焦河段主要矛盾采用适用的规划策略,首先,调水调沙工程使黄河三角洲洲体重新增长^[31],但在本研究中,水域面积的减少不利于河口段生境质量的提升,因此需借助优化岸线结构等方式缓解水生态系统的退化问题;其次,游荡段黄河两岸的

生态基址与环境条件将有所提升,但在广阔的游荡性滩区范围内,水域空间格局难以在短时间发生根本性转变,仍需结合生态保育、平原造林、改良农业生产、优化绿色空间布局等方式为区域生物多样性提供支撑;此外,构建多层次林草植物群落,提升高适宜性生境质量斑块的结构多样性是过渡段生物多样性维持的重要抓手,弯曲段则需聚焦城镇建成地带,依托城市河流、道路等要素完善生物迁徙廊道网络,并强化城镇与黄河之间生态缓冲带的近自然性与低干扰程度。

参考文献(References):

- [1] Zou J X, Wang S Y, Liu C, Han Z, Zhu B, Jiang Z. Evaluation of water quality and habitat quality in the Beiyunhe River watershed. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 638(1): 012091.
- [2] Yang Y Y. Evolution of habitat quality and association with land-use changes in mountainous areas: a case study of the Taihang Mountains in Hebei Province, China. Ecological Indicators, 2021, 129: 107967.
- [3] 黄木易,岳文泽,冯少茹,张嘉晖.基于 InVEST 模型的皖西大别山区生境质量时空演化及景观格局分析.生态学报,2020,40(9): 2895-2906.
- [4] Sun X Y, Jiang Z, Liu F, Zhang D Z. Monitoring spatio-temporal dynamics of habitat quality in Nansihu Lake Basin, Eastern China, from 1980 to 2015. Ecological Indicators, 2019, 102: 716-723.
- [5] Zhang H, Zhang C, Hu T, Zhang M, Ren X W, Hou L. Exploration of roadway factors and habitat quality using InVEST. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2020, 87: 102551.
- [6] 戴云哲,李江风,杨建新.长沙都市区生境质量对城市扩张的时空响应.地理科学进展,2018,37(10): 1340-1351.
- [7] 由星莹,张小峰,唐金武,杨云平.长江中下游河势调整传递及阻隔机理.北京:科学出版社,2019: 1.
- [8] 胡一三,张红武,刘贵芝,王恺忱,彭瑞善,刘月兰.黄河下游游荡性河段河道整治.郑州:黄河水利出版社,1998: 8-92.
- [9] Carvalho Carneiro de Mendonça B C C, Mao L, Belletti B. Spatial scale determines how the morphological diversity relates with river biological diversity. Evidence from a mountain river in the central Chilean Andes. Geomorphology, 2021, 372: 107447.
- [10] Schmitt K, Schäffer M, Koop J, Symmank L. River bank stabilisation by bioengineering: potentials for ecological diversity. Journal of Applied Water Engineering and Research, 2018, 6(4): 262-273.
- [11] 蔡庆华,吴刚,刘建康.流域生态学:水生态系统多样性研究和保护的一个新途径.科技导报,1997,15(5): 24-26.
- [12] Hannah D M, Wood P J, Sadler J P. Ecohydrology and hydroecology: a' new paradigm'? Hydrological Processes, 2004, 18(17): 3439-3445.
- [13] (美)伊恩·伦诺克斯·麦克哈格(Ian Lennox McHarg)著,芮经纬译.设计结合自然.天津:天津大学出版社,2006: 155.
- [14] 李翹,马鑫雨,夏晴.国内外韧性城市的研究对黄河滩区空间规划的启示.城市发展研究,2020,27(2): 54-61.
- [15] 强海洋,崔耀平.黄河滩区综合治理与高质量管护研究.中国国土资源经济,2020,33(5): 39-43.
- [16] 习近平.在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上的讲话.奋斗,2019(20): 4-10.
- [17] 杨洁,谢保鹏,张德罡.黄河流域生境质量时空演变及其影响因素.中国沙漠,2021,41(4): 12-22.
- [18] 黄宝华.基于时序变化的山东土地利用对生境质量影响研究.国土资源科技管理,2021,38(4): 41-50.
- [19] 贾艳艳,于东明,王明杰,刘兵,马琳.泰安市景观格局和生境质量时空演变及其关联分析.西北林学院学报,2022,37(2): 229-237.
- [20] 范钦栋.郑汴一体化核心区景观格局变化对生态系统服务的影响研究[D].开封:河南大学,2016.
- [21] 张金良.黄河下游生态廊道构建理论与实践.北京:科学出版社,2021: 3-30.
- [22] 冯一凡,冯君明,李翹.黄河滩区周边簇群城镇空间发展及演进特征研究.城市发展研究,2022,29(1): 35-47.
- [23] 胡一三,江恩慧,曹常胜.黄河河道整治.北京:科学出版社,2020: 85-94.
- [24] Yang S Q, Zhao W W, Liu Y X, Wang S, Wang J, Zhai R J. Influence of land use change on the ecosystem service trade-offs in the ecological restoration area: dynamics and scenarios in the Yanhe watershed, China. Science of the Total Environment, 2018, 644: 556-566.
- [25] Song Y N, Wang M, Sun X F, Fan Z M. Quantitative assessment of the habitat quality dynamics in Yellow River Basin, China. Environmental Monitoring and Assessment, 2021, 193(9): 614.
- [26] Moran P A P. Notes on continuous stochastic phenomena. Biometrika, 1950, 37(1/2): 17-23.
- [27] Yang D Z, Zhang P Y, Jiang L, Zhang Y, Liu Z, Rong T Q. Spatial change and scale dependence of built-up land expansion and landscape pattern evolution—case study of affected area of the lower Yellow River. Ecological Indicators, 2022, 141: 109123.
- [28] 邬建国.景观生态学:格局、过程、尺度与等级.2版.北京:高等教育出版社,2007: 107.
- [29] 邵明.多目标导向下成渝城市群绿色空间时空演变评价及优化研究[D].北京:北京林业大学,2021.
- [30] Luo R, Yang S L, Wang Z Y, Zhang T M, Gao P Q. Impact and trade off analysis of land use change on spatial pattern of ecosystem services in Chishui River Basin. Environmental Science and Pollution Research, 2022, 29(14): 20234-20248.
- [31] 于君宝,栗云召,管博.黄河三角洲滨海湿地退化过程与生态修复.北京:科学出版社,2019: 40-60.
- [32] 蔡恩香,寇紫薇,孟珂,张杨,侯贺平.1990—2020年郑州城市扩张时空特征分析.河南农业大学学报,2022,56(4): 674-684.
- [33] 孙然好,武大勇,陈利顶.海河流域河流生态系统健康研究.北京:科学出版社,2020: 13-14.
- [34] Ward J V. The four-dimensional nature of lotic ecosystems. Journal of the North American Benthological Society, 1989, 8(1): 2-8.
- [35] Ouyang W, Skidmore A K, Hao F H, Toxopeus A G, Abkar A. Accumulated effects on landscape pattern by hydroelectric cascade exploitation in the Yellow River Basin from 1977 to 2006. Landscape and Urban Planning, 2009, 93(3/4): 163-171.
- [36] 张京生.基于生境提升的河南黄河湿地国家级自然保护区规划设计[D].郑州:河南农业大学,2022.
- [37] 常玉昫,高阳,谢臻,张天柱,于希泽.京津冀地区生境质量与景观格局演变及关联性.中国环境科学,2021,41(2): 848-859.